

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора-заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.Н. Щипунов



М.Н.

декабрь

2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений
Комплекс испытательный на основе сканера ближнего поля
в БЭК ТМСА 1.0-40.0 Б 111
Методика поверки
МП 133-24-01

р.п. Менделеево
2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	4
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	5
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫМ ПОВЕРКУ	5
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ.....	5
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	8
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	8
8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	9
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	9
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	10
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	18

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на комплекс испытательный на основе сканера ближнего поля в БЭК ТМСА 1.0-40.0 Б 111 (заводской №111) (далее – комплекс), изготовленный обществом с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ТРИМ СПП Измерительные системы» (ООО «НПП «ТРИМ СПП Измерительные системы»), г. Санкт-Петербург, и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

1.2 Первичной поверке подлежит комплекс до ввода в эксплуатацию и после ремонта. Периодической поверке подлежит комплекс, находящийся в эксплуатации и на хранении.

1.3 При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемого комплекса к Государственному первичному эталону единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах ГЭТ 75-2023 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений волнового сопротивления, комплексных коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах в диапазоне частот от 0 до 67 ГГц, утверждённой Приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.

1.4 Поверка комплекса может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации лицом в соответствии с его областью аккредитации.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой, эксплуатационной документацией на комплекс и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

1.6 Комплекс предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенных устройств и систем.

1.7 В результате поверки комплекса должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	от 1 до 40
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения при коэффициенте стоячей волны по напряжению испытываемой антенны не более 1,7 и погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны, дБ ¹⁾ :	
0,3 дБ	±0,5
0,5 дБ	±0,7
0,6 дБ	±0,8
0,8 дБ	±1,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности (далее – АДН) на согласованной поляризации антенны на относительном уровне минус 3 дБ, дБ ¹⁾ :	±0,2
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений относительных уровней АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ и кроссполяризационной связке антенны-зонда не менее 20 дБ) на относительном уровне минус 30 дБ, дБ ¹⁾ :	
-в диапазоне частот от 1 ГГц до 1,5 ГГц включ.	±2,5
-в диапазоне частот св. 1,5 ГГц до 2,0 ГГц включ.	±2,2
-в диапазоне частот св. 2,0 ГГц до 4,0 ГГц включ.	±1,9
-в диапазоне частот св. 4 ГГц до 40,0 ГГц	±1,5

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений углового положения луча (максимума) АДН, градус ²⁾ ³⁾	±0,03
¹⁾ Для антенн с коэффициентом усиления не менее 15 дБ;	
²⁾ При ширине луча АДН не более 2° и при расчете по уровню минус 3 дБ;	
³⁾ Измерения углового положения луча (максимума) АДН антенн проводятся относительно плоскости сканирования.	

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки комплекса должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	Да	Да	7
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	9
Определение относительной погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности	Да	Да	10.1
Определение относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения	Да	Да	10.2
Определение диапазона рабочих частот	Да	Да	10.3
Определение абсолютной погрешности измерений углового положения луча (максимума) АДН	Да	Да	10.4

2.2 Допускается проведение поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений по частоте, соответствующих рабочим диапазонам частот используемых антенн-зондов из состава комплекса.

2.3 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, приведенных в таблице 2, поверка прекращается, и комплекс признается непригодным к применению.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки комплекса должны соблюдаться условия, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Условия проведения поверки комплекса

Наименование параметра	Значение
Параметры электропитания от сети переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	от 207 до 253 от 49 до 51
Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность окружающего воздуха при температуре 20 °С, %, не более	от +15 до +25 80
– атмосферное давление, кПа	от 84,0 до 106,7

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами с высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений, имеющими опыт работы в области антенных измерений не менее 3-х лет и квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами:

«Комплекс испытательный на основе сканера ближнего поля в БЭК ТМСА 1.0-40.0 Б111. Руководство по эксплуатации. ТРИМ. 230501-01 РЭ» (далее – РЭ).

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки комплекса должны быть применены средства измерений (далее – СИ) и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 4.

Таблица 4 – Средства измерений и вспомогательное оборудование для поверки комплекса

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.2 Контроль условий поверки	СИ температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью измерений ±0,2 °С. СИ атмосферного давления окружающей среды в диапазоне измерений от 630 до 800 мм рт. ст. с абсолютной погрешностью ±3 гПа. СИ относительной влажности воздуха в диапазоне от 30% до 80 % с погрешностью ±2 %. СИ напряжения питающей сети в диапазоне от 207 до 253 В, с относительной погрешностью ±1 %. СИ частоты питающей сети в диапазоне от 49 до 51 Гц с абсолютной погрешностью не более 0,5 Гц.	Измерители влажности и температуры ИВТМ-7, модель М5-Д рег. № 71394-18*. Мультиметры цифровые Testo 760-2, рег. № 65373-16*.

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.3 Опробование	<p>СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 12,4 до 18 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 26,5 до 40 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p>	<p>Антенна измерительная рупорная П6-225/1 рег. №88090-23* (далее- П6-225/1).</p> <p>Антенна измерительная рупорная П6-225/2 рег. №88090-23* (далее- П6-225/2).</p> <p>Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/4 рег. №79450-20* (далее- П6-139/4).</p> <p>Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/6 рег. №79450-20* (далее- П6-139/6).</p>
10.1 Определение относительной погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности	<p>Эталон единиц комплексных коэффициентов передачи в диапазоне от 0 до минус 60 дБ и комплексных коэффициентов отражений в диапазоне от 0,002 до 1 в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц, соответствующий требованиям к эталонам не ниже 2 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.</p> <p>СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p>	<p>Государственный вторичный эталон единиц комплексных коэффициентов передачи в диапазоне от 0 до минус 60 дБ и комплексных коэффициентов отражений в диапазоне от 0,002 до 1 в диапазоне частот от 0,05 до 65 ГГц, рег. № 2.1. ZZT.0210.2015*. (далее- ГВЭ ККП и ККО).</p> <p>П6-225/1.</p>

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 12,4 до 18 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 26,5 до 40 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.</p> <p>СИ расстояний абсолютным дальномером в диапазоне измерений от 1,5 до 60 м, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности объемных $\pm (15 + 6L)$ мкм, где L измеряемая длина в метрах.</p> <p>Вспомогательное оборудование безэховая экранированная камера (БЭК) с диапазоном частот от 300 МГц до 40 ГГц, с габаритными размерами (не менее): длина 15 м; высота 6 м; ширина 6 м.</p> <p>Вспомогательное оборудование диапазоном частот от 1 до 4 ГГц.</p> <p>Вспомогательное оборудование диапазоном частот от 12,4 до 18 ГГц.</p> <p>Вспомогательное оборудование диапазоном частот от 26,5 до 40 ГГц.</p> <p>Вспомогательное оборудование для установки излучающей антенны.</p>	<p>П6-225/2.</p> <p>П6-139/4.</p> <p>П6-139/6.</p> <p>Система лазерная координатно-измерительная Leica Absolute Tracker AT401 рег. № 48561-11*.</p> <p>Безэховая экранированная камера (далее-БЭК).</p> <p>с Антенна измерительная рупорная П6-421.</p> <p>с П6-139/4.</p> <p>с П6-139/6.</p> <p>для Вспомогательное опорно-поворотное устройство для установки излучающей антенны (далее-вспомогательное ОПУ).</p>

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Вспомогательное оборудование для установки измеряемой антенны с диапазоном перемещения по верхнему слайдеру от 0 до 1 м, диапазоном вращения установленной антенны по азимуту $\pm 90^\circ$, диапазоном вращения установленной антенны по элевации $\pm 10^\circ$, диапазоном вращения установленной антенны по поляризации $\pm 180^\circ$, отклонение установки приращения угла поворота установленной антенны по азимуту, элевации и поляризации не более $\pm 0,05^\circ$	Опорно-поворотное устройство для установки измеряемой антенны (далее-ОПУ).

* – рег. № – регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ).

5.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик поверяемого комплекса с требуемой точностью.

5.3 Средства измерений (эталоны) должны быть исправны, поверены и иметь актуальные сведения о пригодности в ФИФ ОЕИ.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, регламентированные действующими правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, действующими санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами при работе с СВЧ, а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на комплекс и средства поверки.

6.2 Перемещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

6.2 Все оборудование должно быть заземлено, чтобы избежать накопления электростатических зарядов.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра комплекса проверить:

– комплектность, маркировку и пломбировку комплекса путем сличения с данными, приведенными в документе «Комплекс испытательный на основе сканера ближнего поля в БЭК ТМСА 1.0-40.0 Б 111. Паспорт. ТРИМ.230501-01 ПС» (далее – ПС). Допускается замена неисправных автономных измерительных блоков, в том числе представленных аналогичными СИ утвержденного типа;

– отсутствие видимых механических повреждений составных частей комплекса, влияющих на его нормальную работу;

– состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок;

– наружную поверхность элементов комплекса, в том числе управляющих и питающих кабелей;

– состояние органов управления.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

– комплектность, маркировка и пломбировка комплекса соответствуют ПС;

- составные части комплекса не имеют механических и электрических повреждений, влияющих на их нормальную работу;
- управляющие и питающие кабели не имеют механических и электрических повреждений;
- органы управления исправны;
- отсутствуют повреждения лакокрасочных покрытий, маркировка четкая;
- все надписи на органах управления и индикации четкие и соответствуют их функциональному назначению.

7.3 Комплекс, не удовлетворяющий требованиям п. 7.2, к поверке не допускается.

8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Включить персональные компьютеры (далее – ПК), для этого:

- на блоке источника бесперебойного питания нажать кнопку включения;
- нажать на системном блоке ПК кнопку включения;
- включить монитор.

После загрузки операционной системы WINDOWS на экране монитора ПК наблюдать иконки программ «MeasurementCenter», «ProViLab». После запуска программ «MeasurementCenter», «ProViLab» в рабочем окне наблюдать номер версии программного обеспечения (далее – ПО).

8.2 Результаты идентификации ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные (признаки) ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование ПО	MeasurementCenter	ProViLab
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.5.0.40	1.1.7b
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	-	-

В противном случае результаты проверки соответствия ПО считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Подготовка к поверке

9.1.1 Проверить наличие эксплуатационной документации и актуальных данных о поверке СИ, используемых при поверке.

9.1.2 Подготовить средства поверки к проведению измерений в соответствии с руководствами по их эксплуатации.

9.2 Контроль условий поверки

9.2.1 Провести измерения температуры окружающего воздуха, относительной влажности окружающего воздуха, параметров электропитания сети и атмосферного давления в помещении, в котором будет выполняться поверка. Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

9.2.2 Результаты контроля условий поверки считать положительными, если значения температуры окружающего воздуха, относительной влажности окружающего воздуха, параметров электропитания сети и атмосферного давления в помещении, в котором будет выполняться поверка, соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

В противном случае результаты контроля условий поверки считать отрицательными. Последующие операции поверки проводить после установления в помещении, в котором будет выполняться поверка, условий, соответствующих таблице 3.

9.3 Опробование

9.3.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

9.3.2 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке ПО «MeasurementCenter» и «ProViLab».

9.3.3 Проверить работоспособность всех приводов планарного сканера ближнего поля (далее – сканер):

- при установке угловых положений;
- при перемещении по слайдерам.

9.3.4 Соединить при помощи СВЧ-перехода соединитель кабеля «вход антенны-зонда» и соединитель кабеля «выход испытываемой антенны». В соответствии с эксплуатационной документацией подготовить комплекс для измерений модуля комплексного коэффициента передачи со следующими настройками:

- полоса анализа от 1 до 40 ГГц (допускается разбивать на поддиапазоны частот);
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного сигнала минус 20 дБ (отн. 1 мВт). Не превышать допустимый уровень сигнала для приемного устройства.

Наблюдать результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи. При этом должны отсутствовать резкие изменения полученной характеристики, свидетельствующие о неудовлетворительном состоянии радиочастотного тракта комплекса.

9.3.5 Поочередно установить в рабочую зону комплекса измеряемые антенны П6-225/1, П6-225/2, П6-139/4, П6-139/6, на сканер установить antennу-зонд, соответствующую диапазону частот измеряемой антенны на согласованной поляризации.

9.3.6 Подключить СВЧ-кабели к измеряемой антенне и зонду в соответствии с РЭ. Настроить комплекс и провести измерение диаграмм направленности на центральной рабочей частоте антенн.

9.3.7 Результаты опробования считать положительными, если:

- при загрузке программных продуктов «MeasurementCenter» и «ProViLab» сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;
- все приводы сканера работоспособны и осуществляют перемещение антенны-зонда по всей зоне сканирования 15×15 м;
- на экране наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений;
- диаграммы направленности сформированы на заданных частотах.

В противном случае результаты опробования считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить, комплекс бракуется и подлежит ремонту.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Определение относительной погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности

10.1.1 Определение относительной погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности (далее – АДН) осуществить путем последовательных измерений меры АДН (антенн П6-225/1, П6-225/2, П6-139/4, П6-139/6) в безэховой камере с соблюдением условий дальней зоны и на испытываемом комплексе на контрольных частотах 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 18,0; 40,0 ГГц.

10.1.2 Определение КСВН входа антенны.

10.1.2.1 Определение КСВН входа антенн проводить относительно волнового сопротивления 50 Ом. Измерение КСВН проводить с применением анализатора электрических цепей векторного (далее – ВАЦ) в соответствии с руководством по его эксплуатации.

10.1.2.2 Подготовить ВАЦ ZVA67 из состава ГВЭ ККП и ККО для работы в соответствии с РЭ.

10.1.2.3 Измерения проводить в режиме панорамного обзора на частотах:

- для П6-225/1 от 1,0 до 2,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-225/2 от 2,0 до 4,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-139/4 от 12,4 до 18,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-139/6 от 26,5 до 40,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;

10.1.2.4 При измерении КСВН антенну ориентировать в сторону, свободную от отражающих предметов и на удалении от них не менее 3 м.

10.1.2.5 Включить ВАЦ ZVA67. Выходную мощность сигнала установить равную минус 10 дБ (отн. 1 мВт).

В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ ZVA67 выполнить калибровку по выходу СВЧ кабельной сборки, используемой для подключения антенн, в частотном диапазоне, который будет использоваться в соответствии с п. 10.1.2.3.

Подключить испытуемую антенну к порту 1 ВАЦ ZVA67 с помощью СВЧ кабельной сборки. Кнопкой «Meas» выбрать режим измерений «S11», формат измерений «Format» – измерение КСВН, в зоне «Scale» масштаб измерений «Autoscale All».

10.1.2.6 В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ ZVA67 провести измерение КСВН.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.1.2.7 Результаты измерений считать положительными, если значения КСВН в диапазоне рабочих частот не превышают 1,5.

В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить. Дальнейшую поверку проводить с антennами имеющим КСВН в диапазоне рабочих частот не более 1,5.

10.1.3 Определение КСВН входа антенн-зондов.

10.1.3.1 Повторить п.10.1.2.4-10.1.2.6 для комплекса волноводных антенн-зондов.

Измерения проводить в режиме панорамного обзора на частотах:

- для П6-150.2 от 0,96 ГГц до 1,45 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.3 от 1,40 ГГц до 2,22 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.4 от 2,20 ГГц до 3,30 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.5 от 3,30 ГГц до 4,90 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.6 от 4,90 ГГц до 7,05 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.7 от 7,05 ГГц до 10,00 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.8 от 8,20 ГГц до 12,40 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.9 от 12,40 ГГц до 18,00 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.10 от 18,00 ГГц до 26,50 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-150.11 от 26,50 ГГц до 40,00 с шагом не более 10 МГц.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.1.3.2 Результаты измерений считать положительными, если значения КСВН антенн-зондов в диапазоне рабочих частот не превышают 1,5.

В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

10.1.4 Измерение АДН в дальней зоне

10.1.4.1 Измерения проводить в БЭК. В зоне измерений не допускается нахождение предметов, имеющих отражающие металлические поверхности, незакрытые радиопоглощающими материалами.

10.1.4.2 Установить на ОПУ измеряемую antennу П6-225/1 в положение, соответствующее вертикальной поляризации.

10.1.4.3 Установить на вспомогательное ОПУ вспомогательную antennу П6-421. Поляризацию вспомогательной antennы установить согласованной с поляризацией измеряемой antennы. Расстояние R между antennами должно быть не менее:

$$R = 2 \frac{(D_1+D_2)^2}{\lambda}, \quad (1)$$

где R – расстояние между раскрывами antenn, м;

D_1 и D_2 – наибольшие размеры апертур antenn, м;

λ – минимальная длина волн в диапазоне измерений, м.

10.1.4.4 Подключить выходы antenn с использованием фазостабильных кабельных сборок к измерительным portам ВАЦ ZVA67

10.1.4.5 Подготовить лазерный трекер Leica Absolute Tracker AT401 к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.

10.1.4.6 Совместить раскрывы antenn П6-421 и П6-225/1 с помощью приводов ОПУ и вспомогательного ОПУ, контролируя положение antenn лазерным трекером. Погрешность установки не должна превышать $\pm 0,5^\circ$ по азимуту, $\pm 0,5^\circ$ по элевации, $\pm 0,1^\circ$ по поляризации.

10.1.4.7 Установить настройки в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Параметры измерений при проверке динамического диапазона

Тип измеряемой antennы	Тип вспомогательной antennы	Поддиапазон частот*, ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
П6-225/1	П6-421	от 1,0 до 2,0	1
П6-225/2	П6-421	от 2,0 до 4,0	1
П6-139/4	П6-139/4	от 12,4 до 18,0	10
П6-139/6	П6-139/6	от 26,5 до 40,0	10

*поддиапазон частот установить соответствующий рабочему диапазону частот применяемых antenn

10.1.4.8 ВАЦ ZVA67 установить в режим измерений коэффициента передачи (S_{21} или S_{12}) со следующими параметрами:

- диапазон частот и шаг по частоте – в соответствии с таблицей 6;

- выходная мощность ВАЦ ZVA67 – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;

- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 500 Гц;

- усреднения сигнала – отсутствуют.

10.1.4.9 Зафиксировать измеряемый коэффициент передачи $K_{AHT}(f)$, дБ.

10.1.4.10 Отключить кабельную сборку приемного измерительного порта ВАЦ и установить на ее место согласованную нагрузку. Зафиксировать измеряемый коэффициент передачи $K_{UAM}(f)$, дБ.

10.1.4.11 Динамический диапазон измерений АДН antennных устройств рассчитать по формуле (2):

$$D_{AHT}(f) = K_{AHT}(f) - K_{ШДМ}(f) - 3, \text{ дБ.} \quad (2)$$

10.1.4.12 В случае, если измеряемый динамический диапазон составляет не менее 60 дБ, то перейти к выполнению следующего пункта. В противном случае, добиться обеспечения требуемого значения динамического диапазона путём уменьшения ширины полосы фильтра ПЧ.

10.1.4.13 Установить параметры обзора ВАЦ ZVA67 по частоте в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 – Параметры обзора ВАЦ ZVA67 по частоте при измерении АДН

Контрольные частоты, ГГц	Тип измеряемой антенны	Тип вспомогательной антенны	Поддиапазон частот ВАЦ, ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
1,0	П6-225/1	П6-421	от 0,5 до 2,0	1
1,5	П6-225/1	П6-421	от 0,5 до 2,0	1
2,0	П6-225/2	П6-421	от 1,0 до 5,0	1
4,0	П6-225/2	П6-421	от 1,0 до 5,0	1
18,0	П6-139/4	П6-139/4	от 17,0 до 19,0	5
40,0	П6-139/6	П6-139/6	от 39,0 до 41,0	5

10.1.4.14 Установить измеряемую antennу по азимуту в начальное положение. Последовательно перемещая antennу по азимуту от начального положения до конечного, провести измерение комплексного коэффициента передачи $\dot{S}_{12}(\theta, f)$ со следующими настройками:

- начальное положение по азимуту минус 60°;
- конечное положение по азимуту 60°;
- шаг сканирования по азимуту 0,5° (не более);
- режим реверса–без реверса.

10.1.4.15 Провести фильтрацию результатов измерений по формуле 3:

$$\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f) = 20 \lg(F^{+1}\{F^{-1}\{\dot{S}_{12}(\theta, f)\}w(t)\}), \quad (3)$$

где $\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f)$ – сигнал после фильтрации;

$F^{+1}\{\dots\}$ и $F^{-1}\{\dots\}$ – обозначение прямого и обратного преобразования Фурье, соответственно;

$w(t)$ – функция окна во временной области.

10.1.4.16 Определить АДН по формуле 4:

$$A_{\text{дз}}(\theta, f) = |\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f)|, \quad (4)$$

где $A_{\text{дз}}(\theta, f)$ – АДН измеряемой антенны, дБ.

10.1.4.17 Нормировать АДН к максимуму по формуле 5:

$$A_{\text{дз норм}}(\theta, f) = A_{\text{дз}}(\theta, f) - \max(f), \quad (5)$$

где $\max(f)$ – максимум АДН на каждой частоте.

10.1.4.18 В протоколе зафиксировать уровни АДН на контрольных частотах, указанных в п.10.1.4.13.

10.1.4.19 Повторить пункты 10.1.4.14-10.1.4.18 для горизонтальной поляризации измеряемой антенны.

10.1.4.20 Повторить пункты 10.1.4.1-10.1.4.19 для оставшихся пар антенн в соответствии с таблицей 7.

10.1.5 Измерение АДН в ближней зоне на ТМСА 1.0-40.0 Б 111.

10.1.5.1 Установить antennу (в соответствии с таблицей 8) в рабочую зону комплекса, в положение, соответствующее вертикальной поляризации, таким образом, чтобы плоскость раскрыва была параллельно плоскости сканирования. Погрешность установки antennы не должна превышать: 0,5° по азимуту, 0,5° по элевации, 0,2° по поляризации.

Таблица 8 – Порядок установки antenn в зависимости от контрольной частоты

Контрольные частоты, ГГц*	Тип измеряемой antennы	Antenna зонд
1,0	П6-225/1	П6-150.2
1,5	П6-225/1	П6-150.3
2,0	П6-225/2	П6-150.3
4,0	П6-225/2	П6-150.5
18,0	П6-139/4	П6-150.9
40,0	П6-139/6	П6-150.11

*допускается смещение контрольных частот в диапазоне ±10% за исключением 1 и 40 ГГц

Используя режим ручного или дистанционного управления сканером, установить antennу-зонд соосно с измеряемой antennой в положение, соответствующее согласованной поляризации.

Расстояние между раскрывами измеряемых antenn и antenn-зондов установить равным в пределах 3λ, где λ – максимальная длина волны измеряемого поддиапазона частот.

Запустить программу измерений в частотной области «MeasurementCenter» из состава комплекса.

В соответствии с РЭ на комплекс настроить измерение на контрольной частоте в соответствии с таблицей 8. Ширину полосы пропускания установить равной 100 Гц, уровень мощности выходного сигнала анализатора максимальный (без компрессии).

Далее установить следующие настройки:

- шаг сканирования – не более λ/2;
- режим сканирования – непрерывное сканирование без реверса;
- поляризация измеряемой antennы – вертикальная;
- поляризация зонда – вертикальная;
- учет зонда – включен;

– размеры области сканирования – определить из условия уменьшения уровня амплитудного распределения на границе области на 40 дБ относительно максимума.

10.1.5.2 Запустить измерение АДН antenn.

10.1.5.3 С использованием программы расчета «ProViLab» из состава комплекса рассчитать нормированные (через «ноль») АДН для Е и Н сечений измеряемой antennы на контрольных частотах в соответствии с таблицей 7. В протоколе зафиксировать уровни АДН на относительных уровнях D АДН: -3; -10; -15; -20; -25; -30.

10.1.5.4 Не перемещая antennу, повторить измерения по п. 10.1.5.2 еще 4 раза (не менее).

10.1.5.5 Повторить пункты 10.1.5.1-10.1.5.4 для оставшихся antenn и контрольных частот, в соответствии с таблицей 7.

10.1.5.6 Перевести АДН в линейный масштаб по формуле 6:

$$A_{\text{TMCA } i \text{ лин}}(\theta, f) = 10^{0,05 \cdot A_{\text{TMCA } i}(\theta, f)}, \quad (6)$$

где $A_{\text{TMCA } i}(\theta, f)$ – i -результат измерений АДН в дБ.

10.1.5.7 Вычислить среднее арифметическое результатов наблюдений, на каждой контрольной частоте f из таблицы 7:

$$\bar{A}_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f). \quad (7)$$

10.1.5.8 Вычислить среднее квадратическое отклонение результатов измерений АДН по формуле 8:

$$S(\theta, f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f) - \bar{A}_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f)}{A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f)} \right)^2}{n-1}}, \quad (8)$$

где n -количество измерений.

10.1.5.9 Вычислить суммарное среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины по формуле 9:

$$S_{\Sigma}(\theta, f) = \sqrt{\left(\frac{\theta_{A1}^2(\theta, f) + \theta_{A2}^2(\theta, f)}{3} \right) + S^2(\theta, f)}, \quad (9)$$

где θ_{A1} – составляющая погрешности измерений относительных уровней АДН, определяемая по формуле:

$$\Delta A(\theta, f) = \bar{A}_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f) - A_{\text{ДЗ норм лин}}(\theta, f), \quad (10)$$

θ – угол АДН;

f – контрольная частота из таблицы 7;

$A_{\text{ДЗ норм лин}}(\theta, f)$ – соответствующий уровень АДН, измеренный в дальней зоне, в линейном масштабе.

$$\theta_{A1}(\theta, f) = 10^{0.05 \Delta A(\theta, f)} - 1, \quad (11)$$

$\theta_{A2}(\theta, f)$ – погрешность измерений, обусловленная побочными переотражениями и другими источниками определяется по формуле 12;

$$\theta_{A2}(\theta, f) = 10^{0.05 \cdot a \cdot D} - 1, \quad (12)$$

где D -относительный уровень АДН;

a -коэффициент принимаемый равным 0,04 для частоты 1 ГГц и 0,02 для остальных частот.

10.1.5.10 Относительную погрешность измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности δ_A , дБ определить по формуле 13 для угла θ , соответствующего относительному уровню D измеряемой АДН и частоты f :

$$\delta_A(\theta, f) = 20 \lg (1 + K(\theta, f) S_{\Sigma}(\theta, f)), \quad (13)$$

$$\text{где } K(\theta, f) = \frac{t s(\theta, f) + 1,1 \sqrt{\theta_{A1}(\theta, f)^2 + \theta_{A2}(\theta, f)^2}}{s(\theta, f) + \sqrt{\frac{\theta_{A1}(\theta, f)^2 + \theta_{A2}(\theta, f)^2}{3}}}, \quad (14)$$

t – коэффициент Стьюдента.

10.1.6 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений относительных уровней АДН на согласованной поляризации антенны

на относительном уровне минус 3 дБ находятся в пределах $\pm 0,2$ дБ и значения относительной погрешности измерений относительных уровней АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 50 дБ и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ) на относительном уровне минус 30 дБ находятся в пределах :

-в диапазоне частот от 1 ГГц до 1,5 ГГц	$\pm 2,5$;
-в диапазоне частот от 1,5 ГГц до 2,0 ГГц	$\pm 2,2$;
-в диапазоне частот от 2,0 ГГц до 4,0 ГГц	$\pm 1,9$;
-в диапазоне частот от 4 ГГц до 40,0 ГГц	$\pm 1,5$.

10.2 Определение относительной погрешности измерений КУ антенн методом замещения

10.2.1 Проверить наличие актуальных данных о поверке антенн из состава комплекса П6-225/1, П6-225/2, П1-139/1, П1-139/2, П1-139/3, П1-139/4, П1-139/5, П1-139/6 в ФИФ ОЕИ.

10.2.2 Относительную погрешность измерений коэффициента усиления определить расчетным путем при использовании результатов измерений, полученных в п. 10.1 настоящей методики.

Относительную погрешность измерений коэффициента усиления δ , дБ, рассчитать по формуле (15):

$$\delta = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \cdot \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} \right), \quad (15)$$

где $\delta_1 = 10^{0,1 A(\theta,f)} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений АДН, определяемой из п. 10.1 для уровня минус 3 дБ;

$\delta_2 = \left(\frac{KCBN-1}{KCBN+1} \right)^2$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ тракта измеряемой антенны (где КСВН принимается равным 1,7);

δ_3 – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений КУ эталонных антенн (0,3 дБ; 0,5 дБ; 0,6 дБ и 0,8 дБ, что соответствует 0,07; 0,12; 0,15 и 0,20 в линейном масштабе).

10.2.3 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения при КСВН испытываемой антенны не более 1,7 и погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны находятся в пределах:

0,3 дБ	$\pm 0,5$ дБ;
0,5 дБ	$\pm 0,7$ дБ;
0,6 дБ	$\pm 0,8$ дБ;
0,8 дБ	$\pm 1,0$ дБ.

10.3 Определение диапазона рабочих частот

10.3.1 Определение диапазона рабочих частот проводить по результатам определения относительной погрешности измерений относительных уровней АДН (п. 10.1).

10.3.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 1,0 до 40,0 ГГц значения относительной погрешностей измерений относительных уровней АДН находятся в допускаемых пределах, приведенных в п. 10.1.6. В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 1,0 до 40,0 ГГц.

10.4 Определение абсолютной погрешности измерений углового положения луча (максимума) АДН

10.4.1 Определение абсолютной погрешности измерений углового положения луча (максимума) АДН проводить по результатам проверки погрешности измерений по п. 10.1.

10.4.2 Задать АДН для углов от -2° до 2° с шириной основного лепестка по уровню минус 3 дБ равной 2° по формуле 16.

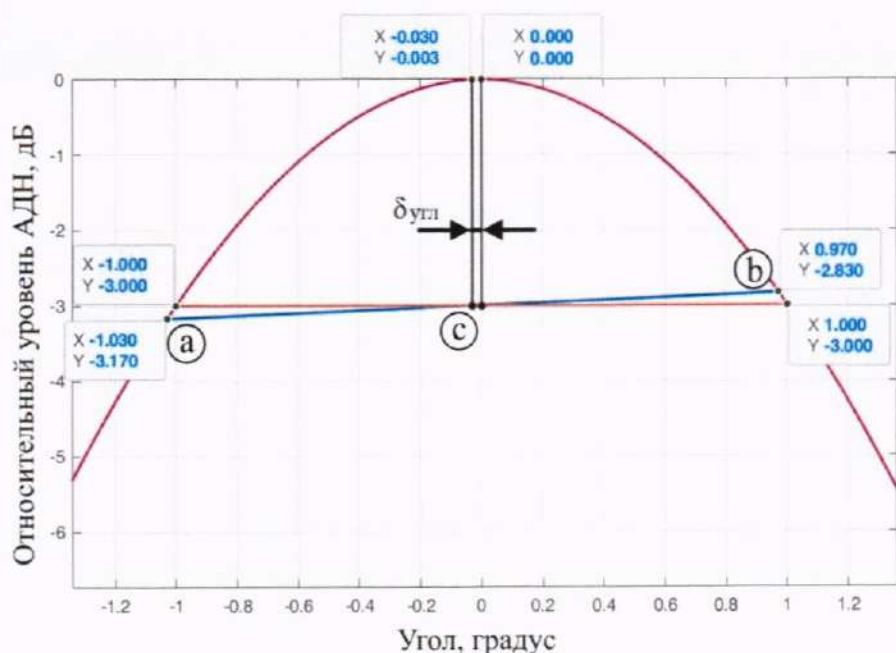


Рисунок 1 – Вид основного лепестка АДН с шириной 2° по уровню минус 3 дБ

$$АДН(\theta) = 50 \frac{\sin(\theta/1,65)}{\theta/1,65} - 50. \quad (16)$$

10.4.3 Определить угол θ_2 (точка “а” на рисунке 1) при условии АДН = $-3 - |\delta_A|$, где δ_A – максимальное значение относительной погрешности измерений относительных уровней АДН на относительном уровне минус 3 дБ в рабочем диапазоне частот, определенное в 10.1.

Определить угол θ_1 (точка “б” на рисунке 1) при условии АДН = $-3 + |\delta_A|$.

10.4.4 Определить абсолютную погрешность измерений углового положения луча (максимума) АДН как разницу между угловыми координатами максимума (0°) и точки “с” на рисунке 1 (центр отрезка АВ):

$$\delta_{\text{угл}} = \theta_{\max} - \theta_c . \quad (17)$$

10.4.5 Результаты поверки считать положительными, если значение абсолютной погрешности измерений углового положения луча (максимума) АДН (при ширине луча АДН не более 2° при расчете по уровню минус 3 дБ), находится в допускаемых пределах $\pm 0,03^\circ$.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Комплекс признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

11.2 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3 По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, на комплекс наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке комплекса, и (или) в паспорт комплекса вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению комплекса.

11.4 При проведении поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений по частоте, соответствующих рабочим диапазонам частот используемых антенн-зондов из состава комплекса, соответствующая запись должна быть сделана в эксплуатационных документах и свидетельстве о поверке.

Начальник НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Инженер лаб. 133 НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»

O.B. Каминский

K.I. Курбатов